

Digitalización de Imágenes de ECG para la Detección del Síndrome de Bayés

Lorena G. Franco¹, Luis A. Escobar Robledo², Antoni Bayés de Luna³, José María Massa⁴

¹Universidad Nacional del Centro de Buenos Aires, Universidad Nacional Tecnológica, Arg,
²Fac. Medicina, Universidad CES, Colombia, ³Fundació d'Investigació Cardiovascular,
España, ⁴INTIA, Fac. Cs. Exactas Universidad Nacional del Centro de Buenos Aires, Arg.
francoledu.ar@gmail.com

Abstract. Bayes Syndrome is a recently recognized by medical community sickness. This disease has been studied in the last decades by its discoverer, MD. Antonio Bayés de Luna. Since several works shows that this disease is related to multiple symptoms, an early detection is considered relevant. Given that digital support of the EKG signal is mandatory for its analysis by a computer algorithm and considering that even with the technological advances, a big number of health institutions rely on paper or image digitalized support por EKGs. Hence, an image digitalization method that preserves the signal features that are relevant to diagnose the Bayes Syndrome is needed. In this paper, some alternatives of digitalization are analyzed for a representative dataset. Results are promising and shows that developed digitalization algorithm could be used for the further project stages that involves signal processing and classification.

Palabras Clave: Síndrome de Bayés, ECG, Bloqueo Interauricular Avanzado, Arritmias, procesamiento digital.

1. Introducción

El alcance y el recrudecimiento de las enfermedades cardiovasculares se han incrementado en los últimos años. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que constituye una de las principales causas de muerte a escala mundial. Según el reciente informe de la OMS, las tasas de mortalidad global, debido a enfermedades cardiovasculares han disminuido. Sin embargo, el impacto de la enfermedad como causa de mortalidad sigue siendo alto [1]. Esto nos denota lo relevante de la prevención y el tratamiento adecuado.

Las señales electrocardiográficas son un elemento decisivo para el diagnóstico de enfermedades cardíacas. En la figura 1 se presenta un ECG normal y se señala la onda P de interés.

A partir del nacimiento y posterior desarrollo del diagnóstico automático de ECG, el mismo tiene un valor clínico muy significativo para el diagnóstico médico moderno. Hoy en día, muchas investigaciones se centran en la extracción de características y el reconocimiento de patrones de señales de ECG [2][3]. El análisis

de ECG basado en computadora requiere una detección precisa. Lograrlo representa un desafío, ya que una señal de ECG real generalmente contiene artefactos (es decir, ruido muscular, artefactos de movimiento y cambios de derivas en la línea base).

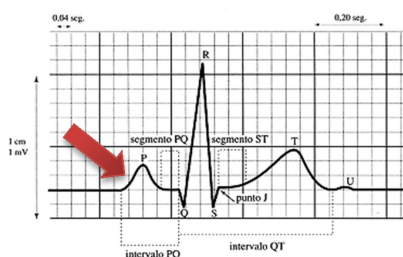


Fig. 1. ECG normal donde se indica la onda P

Dentro del marco de las enfermedades cardiovasculares, se puede mencionar que en los últimos años se ha demostrado la asociación del Síndrome de Bayés a múltiples afecciones médicas del sistema circulatorio. El concepto de BIA, bloqueo más frecuente y relevante a nivel auricular, significa que existe una conducción retrasada entre la aurícula derecha y la aurícula izquierda. Se dividió el BIA de la misma manera que a nivel ventricular, sinoauricular y auriculoventricular en primer grado o parcial, tercer grado o avanzado y segundo grado o intermitente [4] [5] [6].

Existe una fuerte evidencia de que el BIA avanzado (BIA-A), predice la fibrilación auricular (FA) y que cuanto mayor es la duración de la onda P, más fuerte es la asociación. La asociación de BIA-A con FA, ahora denominado Síndrome de Bayés, es más frecuente de lo que inicialmente se pensó. En personas muy mayores la prevalencia de BIA-A es del 25% [6]. En la figura 2 se puede observar la morfología de la onda P en un caso de BIA-A.

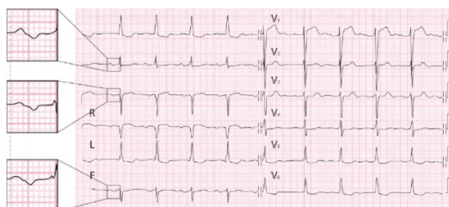


Fig. 2. ECG con BIA-A

Existen estudios que han informado la prevalencia de BIA superior al 40% en pacientes hospitalizados. A pesar de esto, el BIA permanece en gran medida subdiagnosticado. Este bloqueo presenta notables asociaciones con múltiples afecciones médicas que incluyen fibrilación auricular, isquemia miocárdica, agrandamiento de la aurícula izquierda y émbolos sistémicos [8]. En el artículo [9] se concluyó que el BIA debía ser considerado como un novedoso factor de riesgo para accidente cerebrovascular cardioembólico. En función de lo expuesto resulta de interés su reconocimiento en una etapa temprana. El diagnóstico de BIA parcial o

avanzado puede realizarse analizando el ECG. La Universidad de Glasgow que desarrolla programas de análisis de ECG [10], comercializados por algunas empresas, ha estado interesada en el Síndrome de Bayés. Sin embargo los resultados que han obtenido en la detección se encuentran en discusión.

Habitualmente los centros de salud y cardiología trabajan con estudios en papel o imagen. Sin aprovechar las ventajas de las nuevas tecnologías que permiten, como en el caso de los ECG, obtener los resultados en diferentes formatos. Ante la realidad mencionada y considerando que se dispone de imágenes de ECG que presentan las características de la onda P que define el Síndrome de Bayés, es necesario para avanzar en su detección obtener la señal digitalizada. Contemplando la variedad de opciones existentes en cuanto a herramientas de digitalización, en el contexto de esta publicación se optó por experimentar con un software disponible previo a la implementación de una herramienta propia. La herramienta desarrollada aplica para la segmentación el método de umbralización. El objetivo de la segmentación es simplificar y/o cambiar la representación de una imagen en otra más significativa y más fácil de analizar.

En este trabajo se presenta en la sección 2 aspectos teóricos relacionados al Síndrome de Bayés y al procesamiento de imágenes aplicables a las imágenes de ECG que se disponen. En la sección 3 se presentarán las alternativas abordadas a partir de los estudios disponibles y en la sección 4 los resultados obtenidos. Por último en la sección 5 se presentarán las conclusiones.

2. Procesamiento de imágenes con Síndrome de Bayés

Se presentarán en la sección 2.1 los aspectos relacionados al Síndrome de Bayés. A continuación se introducirán aspectos teóricos relacionados al procesamiento de imágenes. Los mismos resultan de interés para comprender los resultados que se observan en la sección 4.

2.1 Síndrome de Bayés

En 1979 eran escasos los estudios sobre alteraciones de la conducción a nivel auricular y tampoco existía una unificación de criterios con respecto a la terminología y sus definiciones [4]. Posteriormente se propuso dividir los trastornos de la conducción a nivel auricular en bloqueos intraauriculares e interauriculares (BIA). Se sugiere clasificar el BIA en:

Parcial: existe un retraso en la zona de conducción del Haz de Bachmann, pero la mayoría de la conducción de derecha a izquierda todavía se produce en el techo auricular.

Avanzado: existe un bloqueo total del Haz de Bachmann y la conducción hacia la aurícula izquierda se produciría a partir de la parte baja de la aurícula derecha con una dirección retrograda caudocraneal [4] [11].

A partir de estos descubrimientos se publican diversos artículos sobre BIA con diferentes definiciones [11]. Recientemente se propuso denominar a la asociación entre BIA-A y arritmias supraventriculares (fundamentalmente fibrilación auricular

[FA] y aleteo atípico) Síndrome de Bayés [12]. Esta denominación constituye un tributo a un reconocido especialista en Electrocardiología a nivel mundial [13] [14].

2.1.1 Bloqueo Interauricular

Se clasifica los BIA en: de primer grado (parcial), de segundo grado (bloqueo transitorio interauricular) o de tercer grado (avanzado).

El bloqueo de primer grado se define con una onda $P \geq 120$ mseg, generalmente bimodal. Se evidencia en las derivaciones I, II o III. La derivación V1 puede presentar una morfología negativa en su fase final.

El bloqueo de segundo grado se caracteriza por cambiar la morfología de la onda P de normal a patrones de BIA de primer grado que se transforma en uno de tercer grado y viceversa.

El bloqueo de tercer grado se define con una onda $P \geq 120$ mseg y una morfología de onda P bifásica o \pm en las derivaciones II, III y AVF [15].

2.2 Procesamiento de imágenes

El procesamiento digital de imágenes incluye un conjunto de técnicas que permiten la representación digital de una imagen. El mismo constituye una herramienta útil para el diagnóstico, tratamiento y monitoreo de diversas enfermedades. A través de su aplicación se pretende facilitar el posterior análisis.

El análisis computacional de imágenes involucra aislar el objeto o región de interés del resto de la imagen (proceso de segmentación), determinar características como pueden ser la morfología o el tamaño y por último la clasificación o el reconocimiento de patrones.

A continuación se describirá el proceso de segmentación por medio de un umbral.

2.2.1 Umbralización

La umbralización de imágenes es uno de los métodos que abarca la segmentación de imágenes digitales. Se trata de una técnica de segmentación simple y eficiente que permite separar los píxeles de una imagen en escala de grises en dos categorías a partir de un valor umbral de intensidad. Estas técnicas buscan obtener un valor de umbral que permita binarizar a la imagen separando adecuadamente el fondo (background) y el objeto a separar (foreground) [16]. Existen dos tipos de umbrales, el umbral global que es único sobre toda la imagen y el umbral local o adaptativo que consiste en dividir la imagen en subimágenes para encontrar un umbral apropiado para cada una de ellas [17]. Dichas subimágenes pueden ser de diferentes formas y tamaños, lo que se define en el momento de implementar el algoritmo para la determinación del umbral local.

Algunas de las técnicas de umbralización están basadas en la información estadística que brinda el histograma, sobre todo en aquellas imágenes donde los objetos tienen una superficie o textura homogénea y el fondo resulta principalmente

uniforme. El desafío de la umbralización es encontrar el valor del umbral adecuado, entre los valores de grises de la imagen, permitiendo una óptima separación entre el objeto y el fondo.

Si el histograma de intensidad de una imagen (niveles de gris) posee dos picos o lóbulos podemos separar dos zonas o regiones que destacarían el objeto y el fondo. En este caso el umbral óptimo es un valor que se encuentre entre ambos picos en el valle.

3. Alternativas de digitalización de ECG

El electrocardiograma (ECG) es uno de los métodos más practicados para detectar cualquier anomalía en la función cardíaca. Hoy en día los avances tecnológicos permiten que muchos equipos generen los resultados del ECG en más de un formato. A pesar de esta evolución muy pocos centros y especialistas en Cardiología guardan los ECG en formato digital. La mayoría de los resultados de la señal electrocardiográfica están disponibles como registros en papel o a lo sumo como imagen.

En este trabajo se utilizaron ECG obtenidos en porcinos y las imágenes de ECG de seres humanos con BIA correspondiente a estudios previos.

3.1. Exploración de viabilidad del uso de ECG de porcinos

Los ECG de porcinos se han convertido en un rival de los ECG de perros para experimentar en cardiología. Debido a las características anatómicas y fisiológicas de su corazón, presenta menos diferencias con el ser humano. El uso de cerdos en la investigación cardiovascular humana ha aumentado progresivamente debido a las similitudes en el tamaño del corazón, los diámetros de sus arterias coronarias entre otras características. Sin embargo para el proceso de análisis de la onda P presenta diferencias que a simple vista pueden notarse.

En la figura 3 se muestra una imagen de un ECG del dataset de porcinos en pdf.



Fig. 3. Imagen de la derivación II de un cerdo con BIA.

Los valores normales de morfología y función cardíaca se han publicado para perros, ganado, hurones, entre otros. Sin embargo, falta información publicada acerca de la morfología y la función cardíaca en cerdos. Con el objetivo de mejorar cuando los datos de cerdos se extrapolan a humanos, se documentaron las medidas electrocardiográficas y ecocardiográficas de morfología y función cardíaca en 132 cerdos sanos. Se encontró como rasgo característico: una onda P bifásica, trifásica o multifásica con una fase negativa inicial en el 50% de los cerdos investigados. Se considera que los trastornos regionales de despolarización pueden sustentar la variación en la duración y la morfología de la onda P [18].

Para la detección del Síndrome de Bayés es necesario contar con las características de la duración como de la morfología de la onda P. Se realizaron búsquedas para obtener la información necesaria y previa a la aplicación de algún método sin obtener suficientes datos para avanzar en esta línea de investigación.

3.2. Digitalización de imágenes de ECG

Los resultados del ECG habitualmente se encuentran disponibles como registros en papel. Como consecuencia se genera la necesidad de almacenar y recuperar los registros de electrocardiogramas en papel del paciente para el diagnóstico de dolencias. Este proceso requiere un gran espacio de almacenamiento y un extenso esfuerzo manual. En esta sección se presentan las características del procesamiento para conversión de datos de imágenes de ECG a la forma de señal digitalizada. Se aplicaron dos métodos distintos de procesamiento, uno de ellos es utilizando una versión de prueba del software im2Graph y el otro mediante un algoritmo desarrollado con Matlab. En ambos casos se proporciona una estrategia efectiva y de muy bajo costo para la conversión de imágenes de ECG a señales digitales.

Los apartados siguientes de esta sección implican el procesamiento de imágenes de ECG mediante un conjunto de técnicas de procesamiento para la conversión de datos de imágenes de papel ECG a la forma de señal digitalizada, lo que resulta en almacenamiento y recuperación conveniente de información ECG.

3.2.1 Digitalización de imagen con Software Free

Considerando las opciones existentes en cuanto a herramientas de digitalización y el beneficio de utilizar software libre, en el contexto de esta publicación se utilizará Im2gph en su versión free para la digitalización de las imágenes de ECG de seres humanos. Este software de digitalización convierte gráficos en datos mediante rápidos y eficientes algoritmos de procesamiento de imágenes.

Para proceder a reconstruir la señal digital se utilizan los datos brindados por el software y mediante Microsoft Excel se procesaron.

3.2.2 Algoritmo en Matlab

Consiste en el desarrollo de una herramienta de software propio destinado a convertir una imagen correspondiente a un ECG a un archivo de datos, que puede procesarse y almacenarse de manera eficiente. Se trata de un enfoque alternativo a las opciones actuales.

El software permite ingresar el valor de un umbral global para realizar una segmentación de la imagen. A continuación el software permite segmentar la imagen por área ingresando las coordenadas específicas. Los resultados se presentan en la siguiente sección.

4. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al aplicar los algoritmos presentados en las secciones 3.2.1 y 3.2.2.

4.1 Resultados de digitalización con software

La figura 4 muestra el ECG original seleccionado, mientras que la figura 5 la señal obtenida a partir de los datos del software Im2graph. Como puede observarse la morfología de la onda P de interés se mantiene.



Fig. 4. Imagen Original seleccionada para obtener los puntos del ECG



Fig. 5. Gráfica obtenida a partir de los datos del software

4.2 Resultados de digitalización con Matlab

En las figuras 6 a 10 se pueden observar las diferencias al aplicar el algoritmo implementado en Matlab.

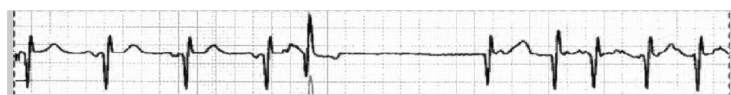


Fig. 6-a. Imagen del ECG original obtenida con Matlab



Fig. 6-b. Imagen obtenida después del primer segmentado

La imagen 6-a muestra la imagen original de la derivación II que se ha ingresado en el software. Al aplicarle un valor de umbral global, previo análisis del histograma de la imagen, se obtiene la figura 6-b. En la misma puede observarse que se ha logrado quitar la grilla.

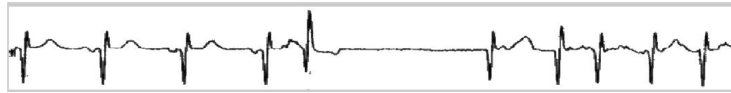


Fig. 7. Imagen final obtenida

La figura 7 muestra que se logra eliminar partes de otras derivaciones que habían quedado en la imagen y los detalles de los extremos, señaladas mediante flechas en la figura 6-b. Para finalizar se muestran en las figuras 8 a 10 la imagen original y las dos señales obtenidas.



Fig. 8. Imagen Original derivación II



Fig. 9. Imagen Original en color rosa utilizada para prueba



Fig. 10-a. Imagen final obtenida con el algoritmo en Matlab.



Fig. 10-b. Imagen obtenida en Matlab de los datos procesados provenientes de Im2gph.

La figura 8 muestra la imagen original de la derivación II, mientras que en la figura 9 se puede observar la señal de la imagen seleccionada con el software Im2gph para posteriormente obtener los datos de interés. La imagen 10 es el resultado final obtenido por el algoritmo desarrollado. En la imagen 10-a se presenta la imagen obtenida con el algoritmo desarrollado en Matlab y la figura 10-b la señal reconstruida en base a los datos provenientes del software Im2gph.

A partir de los resultados obtenidos se puede visualizar que la morfología de la onda P que resulta de interés se logra mantener en el proceso de digitalización de imagen del ECG. Sin ser necesario realizar un proceso de filtrado sobre la misma. La preservación de la onda P fue evaluada cualitativamente por los expertos. Cabe aclarar que en el contexto del dataset disponible, no es posible llevar adelante una

evaluación cuantitativa de la onda P debido a que no se dispone de un ground truth de la misma.

5. CONCLUSION

La electrocardiografía desempeña un papel en el diagnóstico de alteraciones de conducción auricular y ventricular como de muchas cardiopatías hereditarias. El diagnóstico fiable es posible mediante el ECG.

El Síndrome de Bayés presenta notables asociaciones con múltiples afecciones médicas, en gran medida subdiagnosticado. Frente a esta realidad, resulta relevante la prevención y el tratamiento adecuado.

La permanente evolución de las técnicas y dispositivos para la adquisición de datos fisiológicos han permitido disponer hoy en día de los resultados en diferentes formatos. Los electrocardiógrafos eran de inscripción directa de tipo analógico y los registros de ECG por lo general se realizaban en papel termosensible. En la actualidad la mayoría de los ECG convierten la señal analógica de ECG en digital [19]. A pesar de contar con esta ventaja, los cardiólogos y centros de salud, en la mayoría de los casos, no se benefician de estos avances. Analizan los ECG en papel o en imágenes. Un formato digital de la señal permitiría ahorrar en almacenamiento, reducir el impacto medioambiental al eliminar el uso de papel y facilitaría el procesamiento para detección de anormalidades. Frente a este contexto y con los ECG disponibles, en este trabajo se han presentado dos alternativas para obtener la señal digitalizada de imágenes de ECG.

Los resultados obtenidos y derivados del uso de las herramientas de digitalización de ECG representan una alternativa cuando la señal obtenida sólo está disponible en papel o en imágenes. Los mismos son alentadores y muestran que se pueden utilizar para las etapas posteriores del proyecto que implica el procesamiento y la clasificación de la señal para detectar el Síndrome de Bayés.

Bibliografía

1. Organización Mundial de la Salud, http://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/es
2. Houssein, Kilany, Hassanien, Snasel.: A two-stage Feature Extraction Approach for ECG signals. AECIA: International Afro-European Conference for Industrial Advancement (2016)
3. Nikan, Gwadry-Sridhar, Bauer.: Pattern Recognition Application in ECG Arrhythmia Classification. 10th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC), pages 48-56. (2017)
4. Bayés de Luna.: Bloqueo a Nivel Auricular. Rev Esp Cardiol.; 32:5. (1979)

5. Bayés de Luna, Cladellas, Oter, Torner, Guindo, Martí, et al.: Interatrial conduction block and retrograde activation of the left atrium and paroxysmal supraventricular tachyarrhythmia. *Eur Heart J* ; 9:1112-8. (1988)
7. Bayés de Luna, Baranchuk, Escobar Robledo, Massó van Roessel, Martínez-Sellés.: Diagnosis of interatrial block, *Journal of Geriatric Cardiology*. (2017)
8. Kitkungvan, Spodick.: Interatrial block: is it time for more attention? *Journal of Electrocardiology* 42 687–692. (2009)
9. Ariyaratnam, Puri, Apiyasawat, et al.: Interatrial block: A novel risk factor for embolic stroke? *Ann Noninvasive Electrocardiol.* ; 12:15-20. (2007)
10. Macfarlane, Devine, Clark.: The University of Glasgow (Uni-G) ECG Analysis Program. *Computers in Cardiology* ; 32:451–454. (2005)
11. Conde, Baranchuk.: Bloqueo interauricular como sustrato anatómico-eléctrico de arritmias supraventriculares: síndrome de Bayés. *Arch Cardiol Mex.*; 84(1):32-40. (2014)
12. Bayés de Luna, Cladellas, Oter, Torner, Guindo, Martí, et al.: Bloqueo interauricular como sustrato anatómico-eléctrico de arritmias supraventriculares: síndrome de Bayés. *Arch Cardiol Mex* ; 84(1):32-40. (2014)
13. Baranchuk, Conde, Bayés de Luna.: Síndrome de Bayés: la Importancia de su Reconocimiento. *Revista CONAREC*; 31(129):76-78. (2015)
14. Zamora, Arakaki, Rivero, Guetta, Thierier, Boissonnet.: Síndrome de Bayés: Tributo Merecido a un Maestro de la Electrocardiografía Mundial, *Revista CONAREC*; 31(129):116-118. (2015)
15. Bayés de Luna, Platonov, Cosio, et al.: Interatrial blocks. A separate entity from left atrial enlargement: A consensus Report. *J Electrocardiol.* ; 45:445-51. (2012)
16. Triana, Jaramillo, Gutiérrez, Rodríguez.: Técnicas de umbralización para el procesamiento digital de imágenes de GEMFolds. *Scientia et Technica Año XXI, Vol. 21, No. 4.* (2016)
17. Gonzalez and Woods.: *Digital Image Processing*. N.J.: Prentice Hall, (2008)
18. Paslawska, Noszczyk-Nowak, Paslawski, Janiszewski, Kiczak, Zysko, Nicpon, Jankowska, Szuba, Ponikowski.: Normal electrocardiographic and echocardiographic (M-mode and wodimensional) values in Polish Landrace pigs. *Paslawska et al. Acta Veterinaria Scandinavica*, 56:54. (2014).
19. Bayés de Luna.: *Electrocardiografía Clínica*. Editorial Permanyer. Ed. 7ma. (2012)